

УДК 630\*232

**О. А. Севко, А. В. Пупенко**

Белорусский государственный технологический университет

**ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ СОСНОВО-БЕРЕЗОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ НА ТАКСАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ**

Влияние пространственной структуры сосново-березовых древостоев на таксационные показатели деревьев сосны определялось на основании данных подеревной таксации на постоянной пробной площади, заложенной в Негорельском учебно-опытном лесхозе. В древостое определялись таксационные показатели, параметры крон, а также координаты  $X$  и  $Y$  расположения деревьев. Для нахождения зависимости текущего прироста сосновой части древостоя от влияния примеси березы у 44 деревьев сосны был определен радиальный прирост, полученные данные были разделены на три группы интенсивности прироста: интенсивный, средний и слабый. По полученным данным был рассчитан средний показатель прироста для каждой из биогрупп сосны, который составил: для угнетенных сосен – 12,1%; для средне угнетенных сосен – 24,3%; для доминирующих сосен – 32,0%.

Зависимость таксационных показателей деревьев сосны от таксационных показателей деревьев березы и пространственной структуры древостоя определялась при помощи регрессионного анализа. Основными критериями для оценки уравнений послужили коэффициент корреляции, объясненная доля дисперсии и стандартная ошибка отдельных факторов. В результате исследования были выделены регрессионные уравнения, описывающие указанные взаимосвязи, с коэффициентами корреляции для высоты – 0,756, для диаметра кроны – 0,781, для объема – 0,750, для процента прироста – 0,651.

**Ключевые слова:** текущий прирост, пространственная структура, сосново-березовый древостой, регрессионный анализ.

**O. A. Sevko, A. V. Pupenko**

Belarusian State Technological University

**EVALUATION OF DEPENDENCE CURRENT INCREMENT  
A PINE PART OF THE MIXED PINE-BIRCH FOREST STANDS  
FROM THEIR SPATIAL STRUCTURE**

The influence of the spatial structure of pine-birch stands on the taxation indices of pine trees was determined on the basis of the data of the tree taxation on a permanent trial plot, laid in the Negoreloe training and experimental forestry. In the stand, the taxation indicators, the parameters of the crowns, and the  $X$  and  $Y$  coordinates of the tree distribution were determined. To determine the dependence of the current growth of the pine part of the stand on the influence of birch impurity, a radial increase was determined in 44 pine trees, the data obtained were divided into three groups of intensity of growth: intensive, medium and weak. According to the obtained data, the average growth rate for each of the pine bio groups was calculated, which was: for oppressed pines – 12.1%; for the average oppressed pines – 24.3%; for dominant pines – 32.0%.

Dependence of the taxonomic indicators of pine trees on the taxation indicators of the birch trees and the spatial structure of the stand was determined using regression analysis. The main criteria for estimating the equations were the correlation coefficient, the explained fraction of the variance and the standard error of the individual factors. As a result of the study, the regression equations describing the indicated relationships were identified, with correlation coefficients for the height of 0.756, for the crown diameter 0.781, for the volume 0.750, for the growth rate 0.651.

**Key words:** gain, spatial structure, pine-birch forest stands, regression analysis.

**Введение.** Значительная часть лесных насаждений Республики Беларусь представлена сосново-березовыми древостоями. Это обусловлено быстрой ростом в молодом возрасте сосны и березы, высокой приспособляемостью к разным условиям среды, нетребовательностью к почвам и климату, засухоустойчивостью. Береза в условиях боров является основной сопутствующей лиственной породой в составе сосновых насаждений, так как наряду с сосной успешно мирится

с бедностью почв [8, 16]. Примесь березы в сосновых культурах также оказывает почвоулучшающее действие, обогащает подстилку элементами питания, ускоряет процесс разложения, что способствует интенсификации круговорота биогенных элементов [10].

Результаты, полученные И. Н. Рахтеенко и Г. И. Кабашниковой, показывают, что рост и развитие сосны и березы в смешанных насаждениях зависят от состава насаждения [1].

Небольшая примесь березы (20–30%) положительно влияет на рост и развитие сосны.

Похожие результаты были изложены в работах Воронежской государственной лесотехнической академии. В условиях свежего бора (А2) следует рекомендовать создание смешанных сосново-березовых культур с примесью березы до 2–3 единиц с постепенным уменьшением до 0,5 единиц к 60–70 годам. Такие культуры являются наиболее продуктивными [8].

Однако в литературе приводятся данные, которые указывают на неблагоприятное воздействие березы на сосну [2]. Ф. Н. Харитонович отмечает, что береза в большинстве случаев является антагонистом сосны и ели, особенно в благоприятных для нее лесорастительных условиях. По наблюдениям В. И. Олейниковой, К. Б. Лосицкого и В. С. Чуенкова, более сильное отрицательное влияние березы на сосну наблюдается в подземной части, где корни березы вытесняют корни сосны из верхней гумусированной части почвы в нижние менее плодородные слои [6].

Такие противоречивые выводы связаны со сложными взаимоотношениями сосны и березы, которые по-разному проявляются в зависимости от различных факторов. Следовательно, решать вопрос о целесообразности создания смешанных сосново-березовых насаждений, об их преимуществах и недостатках можно только исходя из конкретных условий района произрастания насаждения.

Анализ лесокультурного опыта показывает, что сосновые, еловые и другие насаждения даже в экстремальных условиях местопроизрастания лучше по возможности создавать смешанными. Взаимоотношения древесных пород могут быть самыми различными в зависимости от климатических и почвенных условий. Но такие насаждения, безусловно, являются более устойчивыми к энтомофагам и особенно к грибным заболеваниям.

Исследования динамики таксационных показателей смешанных сосново-березовых древостоев приведены в различных литературных источниках как белорусских, так и зарубежных авторов [7, 9, 4, 11]. При исследовании биопродуктивности деревьев в насаждениях большую роль играет учет влияния конкурентных отношений, связанных с характером размещения деревьев на площади. По мнению С. Н. Сеннова [14], из всех факторов, влияющих на процесс взаимодействия растений между собой, вклад конкуренции, или количественное выражение конкурентных отношений, легче всего определить с использованием индекса конкуренции (CI). Аналогичные подходы наблюдаются в работах В. В. Коцана [3, 5].

В работах В. А. Усольцева и М. М. Семешева описана попытка совместить различные подходы и выявить влияние нескольких показателей конкуренции на фитомассу и прирост ствола дерева с учетом его таксационных характеристик и с установлением оптимального радиуса влияния в чистых естественных и искусственных сосняках [15].

Актуальность данного вопроса указывает на необходимость уточнения значимости межвидового влияния в сосново-березовых древостоях, выявления численных показателей этих связей и использования их для дальнейшего формирования древостоев.

**Основная часть.** Оценка влияния примеси березы на текущий прирост деревьев сосны проводилась по данным таксации 408 деревьев сосново-березового древостоя 1-го класса бонитета орлякового типа леса в возрасте 67 лет. Пробная площадь расположена в Негорельском учебно-опытном лесхозе в 27 квартале, 6 выделе. На стационаре для каждого дерева определены: диаметр С–Ю и 3–В, высота, возраст, диаметр кроны С–Ю и 3–В, протяженность кроны, качественная категория, особенность кроны, площадь поперечного сечения и объем каждого ствола, а также координаты  $X$  и  $Y$  в условной системе координат [13].

В ходе обработки экспериментальных данных и картирования по собранным в процессе полевых работ координатам, была определена пространственная структура древостоя. При помощи программных средств построена схема расположения деревьев на пробной площади (рис. 1).

Для оценки влияния березовой части сосново-березового насаждения на прирост сосны был проведен анализ прироста сосны в насаждении. Для определения зависимости текущего прироста сосны от примеси березы методом случайной стратифицированной выборки были отобраны 44 дерева сосны. Для них измерялся радиальный прирост (обработаны данные по кернам и расстоянию до ближайших деревьев березы). Из данных перечисленных показателей высоты, диаметра, объема ствола и диаметра кроны соответствующих соседних деревьев березы. В зависимости от величины радиального прироста деревьев сосны за 10 лет данные экспериментальных измерений разделены на три группы: слабый радиальный прирост за 10 лет – 0–10 мм, средний – 10–20 мм и интенсивный – 20 мм и более.

Для определения процента текущего прироста по объему ( $P_V$ ) у исследуемых деревьев использовались методы Шнейдера:

$$P_V = \frac{K_i}{d_a},$$

где  $d_a$  – диаметр без коры на высоте 1,3 м в настоящее время, см;  $K$  – коэффициент зависимости от протяженности кроны и энергии роста в высоту);  $i$  – ширина годичного слоя, см, определяется как отношение периодического текущего прироста по диаметру к двум периодам прироста.

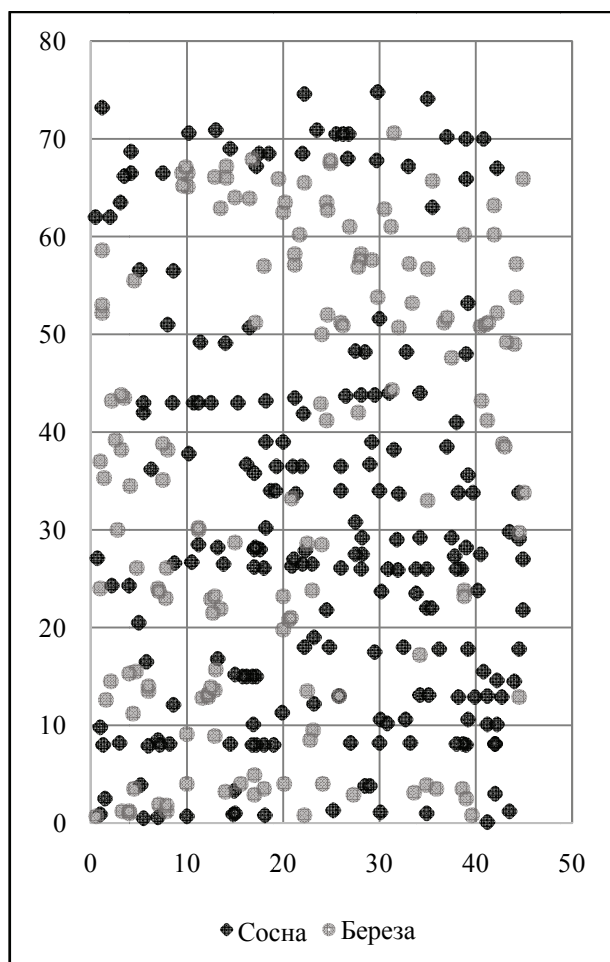


Рис. 1. Схема расположения деревьев березы и сосны на пробной площади

Для оценки зависимости текущего прироста от пространственной структуры сосново-березовых древостоев было найдено среднее расстояние до стволов березы, расположенных на расстоянии, равном диаметру кроны центральной в группе сосны с известным текущим приростом.

На основании таксационных показателей и данных о пространственной структуре определялась корреляция между процентом текущего прироста по объему сосны и указанными выше показателями деревьев березы в каждой группе. Наибольшее влияние на текущий прирост по объему деревьев сосны по результатам корреляционного анализа оказывают: среднее расстояние до берез в группе, высота, диаметры крон и объем ствола деревьев березы.

Вычислялся годичный процент прироста по объему, а далее по указанным выше формулам текущий годичный прирост по объему. Результаты проведенных исследований были опубликованы ранее [12].

По полученным ранее данным был рассчитан средний показатель процента прироста за 10 лет для каждой из биогрупп сосны, который составил:

- для угнетенных деревьев сосны – 12,1%;
- деревьев сосны со средним приростом – 24,3%;
- доминирующих деревьев сосны – 32,0%.

Исследования показали, что при увеличении расстояния до ближайших деревьев березы, наблюдается увеличение показателя прироста деревьев сосны. Корреляция прироста деревьев сосны, распределенных по биогруппам, и среднего расстояния до ближайших соседних деревьев березы представлена на рис. 2.

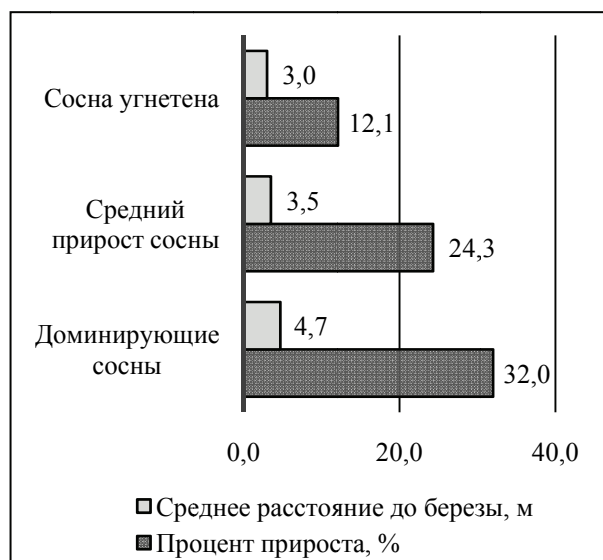


Рис. 2. Зависимость прироста сосновой части сосново-березового древостоя от пространственной структуры

В выборке, где были представлены угнетенные деревья сосны, показатель процента прироста равен 12,1%, что на 62% меньше, чем аналогичный показатель деревьев сосны, которая занимает доминирующее положение. Подобное отличие по проценту прироста у деревьев сосны со средним значением прироста и доминирующими соснами составляет 24%.

На основании регрессионного анализа в пакете программ STATISTICA 10.0 определялась корреляция между таксационными показателями деревьев сосны и средним расстоянием деревьев березы ( $L$ ) в древостое и их объемом ( $V_0$ ). В качестве основных критериев отбора уравнений служили коэффициент корреляции ( $R$ ) и показатель объясненной доли дисперсии. Результаты

многофакторного анализа регрессионных уравнений имеют достаточно высокие показатели данных критериев (таблица).

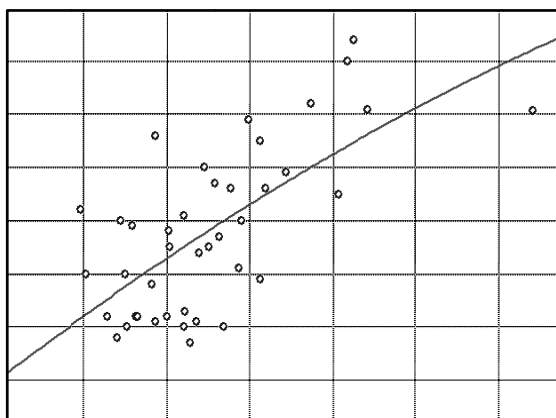
Графическое отображение рассматриваемых регрессионных уравнений позволяет визуально оценить возможные варианты уравнений и подтвердить численные параметры статистических оценок (рис. 3).

**Закключение.** Основываясь на результатах данной работы, можно утверждать, что влияние пространственной структуры нужно учитывать для планирования мероприятий по уходу и во-

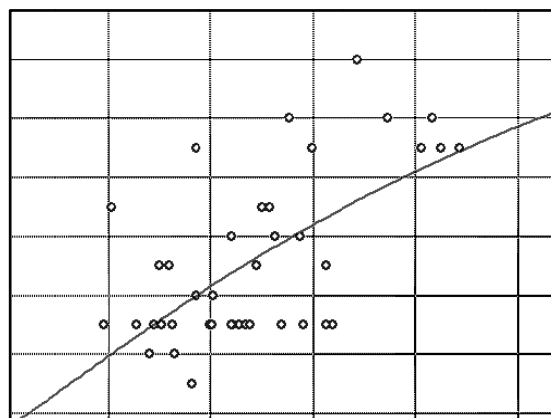
зобновлению древостоев, а также создание оптимальных по составу смешанных насаждений. Формирование пространственной структуры может улучшить эффект проведения рубок ухода, так как даст возможность более правильно выбирать деревья для рубки, также это будет способствовать улучшению качества и количества, получаемых сортиментов и формированию максимально продуктивных насаждений в более короткие сроки, а это является одним из главных аспектов в лесовыращивании и лесоводстве.

**Результаты регрессионного анализа влияния таксационно-пространственных показателей березовой части древостоя на таксационные показатели деревьев сосны**

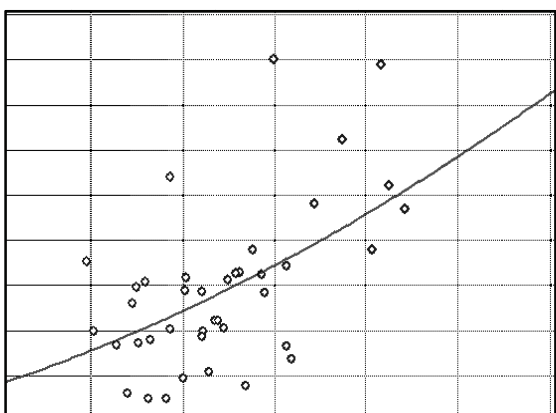
Уравнение	Объясненная доля дисперсии	Коэффициент корреляции
$H = b_1 + b_2 L + b_3 L^2$	0,572	0,756
$D_{кр} = b_1 / (b_2 + b_3 / L)^2$	0,611	0,781
$V = b_1 + b_2 L + b_3 L^2$	0,563	0,750
$Z_r = b_1 + b_2 L + b_3 V_6 + b_4 L^2 + b_5 V_6^2 + b_6 L^3 + b_7 V_6^3$	0,424	0,651



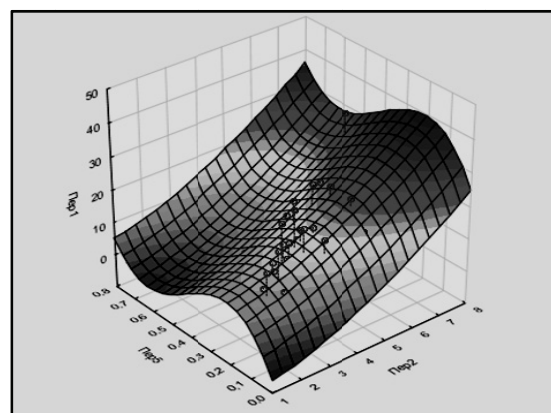
*a*



*б*



*в*



*г*

Рис. 3. Зависимость таксационных характеристик деревьев сосны от пространственной структуры сосново-березового древостоя:  
*a* – высоты; *б* – диаметра кроны; *в* – объема; *г* – радиального прироста

Вопрос оптимального расстояния остается актуальным при производстве лесных культур, при проведении рубок ухода и лесоустроительном проектировании. Величина данного показателя зависит от большого количества факторов. Поэтому однозначно дать ему численную характеристику по каждой породе невозможно. Его можно выразить моделью зависимости от группы факторов. Современные

методы и технологии позволяют решить поставленные задачи. С их помощью можно проводить сравнительный анализ разновременных картографических материалов одних и тех же пробных площадей или стационаров с одинаковыми условиями, но разными моделями рубки. Это позволит сделать правильные выводы и быстрее найти нужную закономерность для успешного развития леса.

### Литература

1. Взаимоотношения древесных пород в чистых и смешанных насаждениях / И. Н. Рахтеенко [и др.] // Эколого-физиологические основы взаимодействия растений в фитоценозах. Минск: Наука и техника, 1976. 116 с.
2. Грибанов В. Я. Пространственная структура сосновых и лиственных деревьев // Продуктивность лесных фитоценозов. Красноярск, 1984. С. 42–47.
3. Коцан В. В. Взаимосвязи между таксационными показателями деревьев в кругах конкуренции на примере сосняков мшистых искусственного происхождения // Труды БГТУ. 2014. № 11: Лесное хоз-во. С. 19–22.
4. Коцан В. В. Классификация деревьев на основании пространственной структуры при назначении в рубки ухода // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 24–27.
5. Коцан В. В. Оценка влияния пространственной структуры на таксационные показатели древостоев с использованием цифровой модели пространственного распределения // Лесное хозяйство: тезисы докладов 76-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 13–20 февр. 2012 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: О. А. Атрошенко (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2012. С. 13.
6. Лосицкий К. Б., Чуенков В. С. Эталонные леса. М.: Лесная промышленность, 1980. 190 с.
7. Мирошников В. С. Сосново-березовые насаждения БССР, их строение, лесоводственное и хозяйственное значение: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / БЛТИ. Минск, 1955. 128 с.
8. Попов В. К. Сосново-березовые культуры Центральной лесостепи. Воронеж: Квадрат, 1997. 224 с.
9. Проблемы лесоведения и лесоводства на радиоактивно загрязненных землях: сб. науч. тр. Ин-та леса НАН Беларуси; ред. В. Ф. Багинский. Вып. 60. Гомель, 2004. 474 с.
10. Романов В. С. Изучение сосново-березовых культур в лесах БССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. / Академия наук БССР; Ин-т социалистического сельского хозяйства. Минск, 1956. 18 с.
11. Биологическая продуктивность сосны в лесной зоне / В. И. Рубцов [и др.]. М.: Наука, 1976. 224 с.
12. Севко О. А. Оценка зависимости текущего прироста сосновой части смешанных сосново-березовых древостоев от их пространственной структуры. // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. 2015. С. 41–45.
13. Севко О. А., Коцан В. В. Методика создания цифровой модели пространственного распределения деревьев по материалам постоянных пробных площадей с использованием ГИС-технологий // Труды БГТУ. 2011. № 1: Лесное хоз-во. С. 53–57.
14. Сеннов С. Н. Итоги экспериментального изучения конкуренции в древостоях // Известия С.-Петербургской лесотехнической академии. СПб., 1993. 172 с.
15. Усольцев В. А., Семышев М. М. Продукционные характеристики с учетом конкуренции деревьев в искусственных и естественных сосняках: сравнительный анализ. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 137 с.
16. Юркевич И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах. Минск: Наука и техника, 1980. 120 с.

### References

1. Rakhtenko I. N., Martinovich B. S., Krot L. A. *Ekologo-fiziologicheskie osnovy i vzaimodeystviya rasteniy v fitotsenozakh* [Ecological and physiological basis of plant interaction in phytocenoses]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1976. 116 p.
2. Griбанov V. Ya. Spatial structure of pine and deciduous trees. *Produktivnost' lesnykh fitotsenozov* [Productivity of forest phytocenoses], 1984, pp. 42–47 (In Russian).
3. Kotsan V. V. Interrelations between taxation indicators of trees in competition circles on the example of pine forests of mossy artificial origin. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1, Forestry, pp. 19–22 (In Russian).

4. Kotsan V. V. Classification of trees on the basis of the spatial structure when assigned to felling care *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1, Forestry, pp. 24–27 (In Russian).
5. Kotsan V. V. Estimation of the influence of the spatial structure on the taxonomic indicators of stands using the digital model of spatial distribution. *Tezisy докладов 76-y nauch.-tekhn. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov "Lesnoe khozyaystvo"* [Thesis of the reports of the 76th scientific and technical conference of the teaching staff, researchers and post-graduate students "Forestry"]. Minsk, 2012, p. 13 (In Russian).
6. Lositskiy K. B., Chuenkov V. S. *Etalonnnye lesa* [Reference forests]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 190 p.
7. Miroshnikov V. S. *Sosnovo-berozovye nasazhdeniya BSSR, ikh stroenie, lesovodstvennoe i khozyaystvennoe znachenie. Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk* [Pine-birch plantations of the BSSR, their structure, silvicultural and economic significance. Abstract of thesis cand. of agricultural sci.]. Minsk, 1955. 128 p.
8. Popov V. K. *Sosnovo-berozovye kul'tury Tsentral'noy lesostepi* [Pine-birch cultures of the Central forest-steppe]. Voronezh, Kvadrat Publ., 1997. 224 p.
9. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva na radioaktivno zagryaznennykh zemlyakh* [Problems of Forestscience and Forestry in the contaminated land], Gomel, 2014, issue 60, 474 p.
10. Romanov V. S. *Izuchenie sosnovo-berozovykh kul'tur v lesakh BSSR. Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk* [Study of pine-birch crops in the forests of the BSSR. Abstract of thesis cand. of agricultural sci.]. Minsk, 1956. 18 p.
11. Rubtsov V. I., Novosel'tseva A. I., Popov V. K., Rubtsov V. V. *Biologicheskaya produktivnost' sosny v lesnoy zone* [Biological productivity of pine in the forest zone]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 224 p.
12. Sevko O. A. Estimation of the dependence of the current increment of the pine part of mixed pine-birch stands on their spatial structure. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1, Forestry, pp. 41–45 (In Russian).
13. Sevko O. A., Kotsan V. V. Method for creating a digital model of spatial distribution of trees based on materials of permanent trial plots using GIS technologies. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 1, Forestry, pp. 53–57 (In Russian).
14. Sennov S. N. Results of experimental study of competition in stands. *Izvestiya S.-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy]. St. Petersburg, 1993. 172 p.
15. Usol'tsev V. A., Semyshev M. M. *Produktsionnye kharakteristiki s uchetom konkurentsii derev'ev v iskusstvennykh i estestvennykh sosnyakakh: sravnitel'nyy analiz* [Productive characteristics taking into account the competition of trees in artificial and natural pine forests: a comparative analysis]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2007. 137 p.
16. Yurkevich I. D. *Vydelenie tipov lesa pri lesoustroitel'nykh rabotakh* [Selection of forest types in forest management operations]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1980. 120 p.

#### Информация об авторах

**Севко Оксана Александровна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: o.sevko@belstu.by

**Пупенко Александра Владимировна** – студентка. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

#### Information about the authors

**Sevko Oksana Aleksandrovna** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: o.sevko@belstu.by

**Pupenko Aleksandra Vladimirovna** – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

Поступила 15.05.2017